

#3
C. Barroux

612.40276X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): BARROUX, Claire
Serial No.: Not yet assigned
Filed: July 6, 2001



Title: MODELLING METHOD ALLOWING TO PREDICT AS A
FUNCTION OF TIME THE DETAILED COMPOSITION
OF FLUIDS PRODUCED BY AN UNDERGROUND
RESERVOIR UNDER PRODUCTION

Group: Not yet assigned

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

July 6, 2001

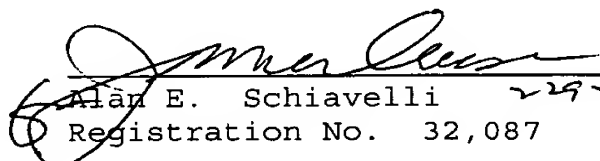
Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the
applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on
French Patent Application No.(s) 00/09008, filed July 10,
2000.

A certified copy of said French Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP


Alan E. Schiavelli 22973
Registration No. 32,087

AES/alb
Attachment
(703)312-6600

THIS PAGE BLANK (USPTO)

J1000 U.S. PTO
09/899105

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 25 JUIN 2001

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04
Télécopie : 33 (1) 42 93 59 30
www.inpi.fr



THIS PAGE BLANK (USPTO)

INPIINSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI





N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 W / 260899

Réserve à l'INPI		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE	
REMISE DES PIÈCES DATE <u>10.07.2000</u> LIEU <u>SS</u> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <u>0009008</u> DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <u>10 JUL 2000</u>		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE 1 et 4 avenue de Bois Préau 92852 Rueil Malmaison cedex	
Vos références pour ce dossier (facultatif) JC/CLN			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date ____/____/____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date ____/____/____	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date ____/____/____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) METHODE DE MODELISATION PERMETTANT DE PREDIRE EN FONCTION DU TEMPS LA COMPOSITION DETAILLÉE DE FLUIDES PORUDITS PAR UN GISEMENT SOUTERRAIN EN COURS DE PRODUCTION			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE	
Prénoms			
Forme juridique		Organisme Professionnel	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	1 et 4 avenue de Bois Préau	
	Code postal et ville	92852	Rueil Malmaison cedex
Pays		France	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)		01 47 52 60 00	
N° de télécopie (facultatif)		01 47 52 70 03	
Adresse électronique (facultatif)			

REMISE DES PIÈCES DATE <i>no. 07 2000</i> LIEU <i>95</i> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0009008		Réservé à l'INPI	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		JC/CLN	
6 MANDATAIRE			
Nom		ELMALEH	
Prénom		Alfred	
Cabinet ou Société		INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	1 et 4 avenue de Bois Préau	
	Code postal et ville	92852	Rueil Malmaison cedex
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 47 52 60 00	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 47 52 70 03	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
7 INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en deux versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Alfred ELMALEH, Chef du Département Brevets N° 422-5/PP.253		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI  	

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

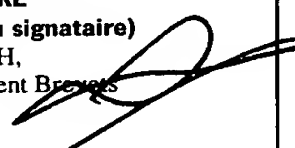
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.. / 1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		JC/CLN	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		000 908	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) METHODE DE MODELISATION PERMETTANT DE PREDIRE EN FONCTION DU TEMPS LA COMPOSITION DETAILLEE DES FLUIDES PRODUITS PAR UN GISEMENT SOUTERRAIN EN COURS DE PRODUCTION			
LE(S) DEMANDEUR(S) : INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois Inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		BARROUX	
Prénoms		Claire	
Adresse	Rue	1 ter, boulevard de la République	
	Code postal et ville	92370	Chaville
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Alfred ELMALAH, Chef du Département Brevets N° 422-5/PP.253			

La présente invention concerne une méthode de modélisation permettant de prédire en fonction du temps la composition détaillée de fluides produits par un gisement souterrain en cours de production, et notamment d'un gisement d'hydrocarbures en cours de production.

Un tel modèle permet à l'ingénieur de gisement d'établir des profils compositionnels détaillés qui, sont nécessaires en particulier au dimensionnement prévisionnel et à la gestion d'installations de surface, telles que séparateurs, unités de traitement, lignes de transport, etc., donc utiles en ingénierie de surface et de procédés.

Etat de la technique

La modélisation des écoulements dans un réservoir pétrolier est fondée essentiellement sur l'application au réservoir préalablement maillé (ou à une portion de celui-ci) de la loi de Darcy bien connue décrivant l'écoulement de fluides en milieux poreux, de la loi de conservation des masses dans chaque unité de volume, des relations thermodynamiques régissant l'évolution des paramètres de phase des fluides tels que la viscosité, la masse volumique, sur des conditions initiales, sur des conditions aux limites de fermeture de la structure, et sur des conditions aux puits.

Le modèle dit « Black Oil » désigné ci-après en abrégé par B.O., est l'un des plus utilisés en simulation pétrolière. Il permet de décrire un écoulement tridimensionnel et triphasique (eau-huile-gaz) compressible. Les effluents pétroliers intervenant dans ce modèle sont décrits généralement par un constituant eau, et deux constituants pour le fluide de gisement, le mot de constituant recouvrant ici la notion de composant (comme H₂O pour l'eau) et la notion de pseudo-composant (regroupement de composants). Les constituants intervenant dans ce modèle sont au nombre de trois : un constituant eau (E), un constituant hydrocarbure lourd (L), et un constituant hydrocarbure léger (V). Dans un modèle de type B.O. dit « strict », le

constituant (E) n'est présent que dans la phase eau, le constituant (L) n'est présent que dans la phase liquide hydrocarbure (appelée huile ou condensat), le constituant (V) se partage entre les phases hydrocarbures liquide et vapeur (phase appelée gaz). Même si l'usage des modèles B.O. est à déconseiller dans certains cas de gaz à condensats, il n'en reste pas moins applicable à un grand nombre de cas industriels.

Un autre modèle de simulation bien connu dit « compositionnel » est aussi utilisé, où les fluides hydrocarbures sont représentés par un nombre plus élevé de composants, au moins trois, souvent davantage. La modélisation des flux de ces fluides mieux détaillés se traduit par des temps de calcul très importants (beaucoup plus longs que ceux requis pour une modélisation de type B.O.) du fait du plus grand nombre de constituants mais aussi parce qu'il est souvent nécessaire de réduire la taille des mailles pour limiter l'erreur numérique et par conséquent d'augmenter le nombre de mailles.

Pour des raisons pratiques, les fluides en place sont décrits comme constitués d'un nombre de composants ou pseudo-composants beaucoup plus réduit que le nombre réel de composants, de façon que les calculs de modélisation puissent être menés dans un délai raisonnable. Une composition réduite à quelque 5 ou 10 pseudo-composants s'avère en général suffisante pour représenter le comportement des fluides dans le gisement.

Par la demande de brevet WO 99/42937 et aussi le papier de C. Leibovici et J. Barker "A Method for Delumping the Results of a Compositional Reservoir Simulation" SPE 49068, présenté à la SPE Annual Technical Conference and Exhibition New Orleans, 27-30 Septembre 1998, on connaît une méthode de prévision de l'évolution de la composition détaillée au cours du temps à partir des calculs effectués dans une simulation de type compositionnel de fluides décrits par un certain nombre réduit de pseudo-composants (principe de représentation 'groupée' ou 'regroupée' obtenue par une opération dite de 'lumping'), le nombre de composants étant au moins de trois. La méthode permet donc de prédire quels

auraient été les résultats d'une simulation de réservoir si l'on avait utilisé une modélisation finement détaillée où les fluides sont représentés par un nombre plus élevé de composants. C'est une opération connue des gens de l'art sous l'appellation de "delumping", que l'on désignera par la suite aussi par "éclatement".

- 5 Le principe de l'étape d'éclatement antérieure est de calculer le coefficient ΔD_0 et les n coefficients ΔD_p (soit $n+1$ coefficients, n étant le nombre de paramètres de l'équation d'état) d'une équation générale connue, publiée antérieurement dans un papier de C.F. Leibovici, E.H. Stenby, K. Knudsen, "A Consistent Procedure for Pseudo-Component Delumping", Fluid Phase Equilibria, 1996, **117**, 225-232. :

10 (1) $\ln(k_i) = \Delta D_0 + \sum_{p=1}^n \Delta D_p \Pi_{pi}$

- où les Π_{pi} sont des paramètres fixes de caractérisation du constituant i dans l'équation d'état pour une représentation thermodynamique donnée, à partir des constantes d'équilibre k_i de chaque constituant de la représentation thermodynamique regroupée calculées pendant la simulation compositionnelle dans chaque maille et à
- 15 chaque pas de temps. Si N_{rg} est le nombre de composants de la représentation thermodynamique regroupée, on dispose donc de N_{rg} équations pour déterminer $n+1$ coefficients. Une condition nécessaire est donc que N_{rg} soit au moins égal à $n+1$. Pour l'équation d'état de Peng-Robinson à deux paramètres, il faut donc une représentation thermodynamique regroupée à au moins trois composants.

- 20 Une fois le coefficient ΔD_0 et les n coefficients ΔD_p calculés, on les utilise pour calculer les constantes d'équilibre des composants de la représentation thermodynamique détaillée (N_{rd} composants) en appliquant l'équation (1) aux N_{rd} composants avec leurs propres paramètres fixes de caractérisation dans la représentation thermodynamique détaillée.

- 25 En utilisant a) les constantes d'équilibre pour la représentation thermodynamique détaillée ainsi déterminées, b) les flux entre chaque maille et aux

puits, c) la fraction vapeur dans chaque maille issus de la simulation compositionnelle regroupée, et, d) la composition détaillée globale dans chaque maille et aux puits injecteurs en début de pas de temps, on estime alors dans chaque maille la composition détaillée de chaque phase hydrocarbure au pas de temps t et la composition détaillée globale de chaque maille au pas de temps $(t+1)$ suivant.

L'un des intérêts de cette méthode est qu'il n'est pas nécessaire, dans l'étape d'éclatement (« delumping ») à chaque pas de temps, de résoudre l'équation d'état, que ce soit pour la représentation regroupée ou la représentation détaillée, ce qui constitue une économie de temps de calcul. Un inconvénient de la méthode est qu'elle n'est pas applicable aux simulations de type B.O, puisque les équations d'état pratiques ont au moins deux paramètres.

Par la demande de brevet WO 98/5710726, on connaît également une méthode pour prédire l'évolution de la composition détaillée au cours du temps à partir des calculs de flux effectués dans une simulation de type B.O. où les phases hydrocarbures sont décrites par seulement deux composants (L) et (V). L'inconvénient de la méthode est qu'elle requiert l'utilisation de l'équation d'état de la représentation détaillée à chaque pas de temps, et donc d'être coûteuse en temps de calcul pendant l'étape de "delumping".

La méthode selon l'invention

La méthode selon l'invention combine une simulation prévisionnelle du comportement du gisement par une modélisation de type B.O. avantageuse puisqu'elle ne nécessite aucun recours à une équation d'état, et une étape d'éclatement ou de "delumping" qui ne nécessite à aucun pas de temps une quelconque résolution d'une équation d'état.

Dans une modélisation de type B.O. on introduit, entre autres paramètres, les paramètres thermodynamiques des fluides (tels que viscosité, facteur de volume, densité, rapport de dissolution gaz-huile, etc.) dans un fichier des données d'entrée

du simulateur (sous forme de tables, et ou par corrélation, comme fonction de la pression, de la température si celle-ci varie) et, le cas échéant (pour le modèle de type B.O. étendu), d'un paramètre additionnel conservant une mémoire de la composition du gaz tel par exemple que la densité du gaz).

- 5 L'idée essentielle est ici d'introduire simplement dans les données d'entrée les (n+1) colonnes ou corrélations supplémentaires correspondant aux différences ΔD_p , par exemple en les incluant dans un fichier annexe au fichier principal utilisé par la simulation. Il est également possible d'introduire $2 \times (n+1)$ colonnes ou corrélations supplémentaires correspondant aux paramètres D_p de chaque phase. Une condition
- 10 pratique pour que des données puissent être entrées sous forme de table est que les dépendances fonctionnelles introduites soient suffisamment continues.

Par là, on s'affranchit de la nécessité du calcul des constantes d'équilibre par le modèle.

- 15 La méthode de simulation selon l'invention permet de prédire en fonction du temps et dans au moins une zone thermodynamique, une composition détaillée d'un fluide produit par un réservoir et plus particulièrement une composition détaillée d'un fluide contenu dans et produit par un gisement pétrolier dans lequel sont implantés un ou plusieurs puits de production.

Elle est caractérisée en ce que :

- 20 - on discrétise le gisement par un maillage, chaque maille contenant une ou plusieurs phases dont au moins une phase non aqueuse ;
- on détermine la variation de paramètres thermodynamiques des phases non aqueuses nécessaires à une modélisation de type « Black Oil » (B.O.) au cours d'étapes d'un chemin thermodynamique suivi par les fluides dans le gisement
- 25 (tels par exemple que la viscosité des phases, le rapport de dissolution du gaz dans l'huile, les facteurs de volume de l'huile ou de compressibilité du gaz, etc.) ;

- on définit les fluides par une représentation détaillée à N_{rd} composants et/ou pseudo-composants ;
- on détermine au moins une équation d'état à n paramètres permettant de simuler au moins durant la phase de préparation des données d'entrée (simulation qui est
5 nécessaire strictement que durant cette phase de préparation des données d'entrée, et donc non nécessaire de façon répétitive au cours ou après la simulation de type B.O.), le comportement thermodynamique des fluides au cours des étapes d'un chemin thermodynamique suivi, permettant de générer, par zone ou domaine thermodynamique, $n+1$ relations fonctionnelles
10 supplémentaires (sous forme de tables ou de corrélations) ;
- on traduit le comportement thermodynamique de chaque phase non aqueuse en des données d'entrée convenant pour une représentation thermodynamique de type B.O., données d'entrée que l'on complète par les données d'entrée supplémentaires convenant à l'opération d'éclatement ;
- 15 - on réalise une modélisation de type B.O., permettant de déterminer dans chaque maille et à des pas de temps consécutifs, des caractéristiques thermodynamiques de chaque phase non aqueuse et des données représentatives de déplacement des phases dans le gisement ; et
- on réalise une opération d'éclatement pour obtenir la composition détaillée des
20 fluides dans chacune des mailles.

Pour caractériser le chemin thermodynamique, on détermine par exemple les variations de la composition des fluides et des propriétés des différentes phases.

Au cours de la simulation de type B.O., on détermine par exemple dans chaque maille des paramètres thermodynamiques tels que la pression (p_j^m), la
25 température (T_j^m) si celle-ci varie, les saturations des phases hydrocarbure liquide

($S_o_j^m$) et vapeur ($S_g_j^m$), les débits d'injection ou de production, et, pour chaque paire de mailles(j,h), les débits volumiques des phases liquide (u_{ojh}^m) et vapeur (u_{gjh}^m).

L'opération d'éclatement comporte par exemple une détermination des constantes d'équilibre à partir de données d'entrées spécifiques à l'opération d'éclatement, et une conversion de résultats exprimés en volume par des résultats utilisables dans des équations de conservation des quantités molaires ou massiques.

Présentation sommaire des figures

D'autres caractéristiques et avantages de la méthode selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'un exemple non limitatif de réalisation, en se référant aux dessins annexés où :

- les Fig.1 à 3 montrent respectivement les variations en fonction de la pression de trois coefficients ΔD_0 , ΔD_1 , ΔD_2 , au cours de la vaporisation différentielle d'une huile de gisement simulée à l'aide de l'équation de Peng-Robinson à deux paramètres.

Description détaillée

Les différentes étapes de la méthode de modélisation permettant notamment de prédire en fonction du temps la composition détaillée de fluides produits par un gisement d'hydrocarbures en cours de production sont les suivantes :

- a) On représente tout d'abord le réservoir sous la forme d'un réseau de mailles (j) dont chacune constitue un volume élémentaire rempli de fluide(s) sous forme de une ou plusieurs phases, avec au moins une phase non aqueuse. Les phases non aqueuses sont dites phases hydrocarbure même si elles peuvent contenir certains composants autres que des hydrocarbures tel que l'azote, le dioxyde de carbone, l'anhydride sulfureux.

b) On établit, d'une façon connue en soi, le comportement thermodynamique de la (des) phase(s) non aqueuse(s) nécessaire à une représentation thermodynamique de type B.O.. Il s'agit de décrire la dépendance de paramètres de phase avec la pression, la température si celle varie en cours de simulation et, éventuellement, pour les modélisations de type B.O. non strict, un indicateur d'évolution de la composition (par exemple le contenu en condensat dissous dans la phase gaz) au cours d'un chemin (évolution) thermodynamique représentatif de celui que va suivre le fluide dans le gisement. Le chemin thermodynamique le plus courant est celui de l'opération dite différentielle au cours de laquelle la pression du mélange est progressivement abaissée à température constante : sous le point de saturation, l'une des phases est évacuée à chaque palier de pression (pour la vaporisation différentielle d'une phase liquide, la phase gaz est évacuée); durant cette opération, les compositions et propriétés des phases (viscosités, masses volumiques, facteur de volume, rapport de dissolution gaz-huile de la phase liquide, etc.) sont déterminées.

Il est à noter que l'on peut également traiter les cas qui requièrent l'usage de plusieurs représentations thermodynamiques « Black Oil » par exemple, si la composition en début de simulation varie avec la profondeur ou latéralement à l'intérieur du réservoir, ou si l'on peut distinguer plusieurs chemins thermodynamiques locaux durant la modélisation. Plusieurs zones ou domaines de variations des grandeurs thermodynamiques ou de composition, désignés souvent par les spécialistes comme zones thermodynamiques, pourront donc être définis et utilisés.

L'origine des données sur le comportement du fluide de gisement peut être de nature expérimentale (expériences de laboratoire), elles peuvent être issues de mesures sur champ, ou prédites à partir de données frustrées et d'hypothèses complémentaires en simulant numériquement le comportement du fluide de gisement. Parmi les propriétés de phase ainsi habituellement décrites en entrées des modélisations de type B.O. on trouve la viscosité des phases, le rapport de

dissolution du gaz dans l'huile, le facteur de volume de l'huile, le facteur de compressibilité du gaz.

c) On définit, avant la simulation B.O. et pour chaque zone ou domaine thermodynamique, le fluide par une représentation détaillée à N_{rd} composants et/ou pseudo-composants,

d) Par zone thermodynamique, on détermine une équation d'état permettant de reproduire préalablement, avant la simulation B.O., le comportement thermodynamique du fluide au cours du chemin thermodynamique représentatif de celui que va suivre le fluide dans le gisement.

e) On reproduit avec l'équation d'état les étapes (souvent des paliers de pression) du chemin thermodynamique de chaque zone, en particulier sous la pression de saturation où deux phases sont présentes. Lors de cette simulation thermodynamique préalable, on utilise, à la pression de saturation du fluide et en dessous, à chaque étape du chemin thermodynamique, les constantes d'équilibre obtenues à partir des résultats de la simulation, pour calculer le coefficient ΔD_0 et les n coefficients ΔD_p de l'équation (1) correspondant à l'équation d'état choisie pour décrire le comportement du fluide hydrocarbure par exemple en minimisant la fonction :

$$(2) \quad O(\Delta D_0, \Delta D_1, \dots, \Delta D_p, \dots, \Delta D_n) = \sum_{i=1}^{Nrd} \left[\Delta D_0 + \sum_{p=1}^n \Delta D_p \Pi_{pi} - \ln(k_i) \right]^2$$

L'équation (1) ayant été obtenue à partir d'une équation sur la fugacité du constituant i dans une phase où apparaissent les coefficients D_0 et les n coefficients D_p propres à la phase :

$$(3) \quad \ln\left(\frac{f_i}{x_i P}\right) = D_0 + \sum_{p=1}^n D_p \Pi_{pi} ,$$

on peut alternativement déterminer ces coefficients qui apparaissent comme des paramètres de phases, l'inconvénient étant d'augmenter le volume des données d'entrées.

On dispose alors à chaque étape du chemin thermodynamique, prévu comme représentatif de celui que va suivre le fluide dans le gisement, de la dépendance en fonction de la pression, de la température et, le cas échéant, d'autres indicateurs nécessaires, des propriétés des phases nécessaires à la simulation B.O., et, sous la pression de saturation, du coefficient ΔD_0 et des n coefficients ΔD_p (ou des $n+1$ paramètres D_0 et D_p , p variant de 1 à n , par phase) qui seront utilisés pour calculer les constantes d'équilibre lors de l'étape de "delumping" décrite ci-après.

Les variations des différences ΔD_p ($p = 0$ à 2) pour une opération différentielle sur une huile de gisement simulée à l'aide de l'équation de Peng-Robinson à deux paramètres, sont illustrées aux Fig.1 à 3. On peut constater que le comportement de ces paramètres est suffisamment continu pour être aisément introduit sous forme de table, ou alternativement par une corrélation simple en fonction de la pression. Par exemple, dans le cas présent pour ΔD_0 :

$$\Delta D_0 = 1.406231 (1 - \text{LN}(P/P_{\text{sat}}) [1 + 0.038 \times \text{LN}(P/P_{\text{sat}})])$$

Au stockage pour utilisation ultérieure de l'évolution des valeurs de ces coefficients en fonction des abscisses de pression, température, et indicateur compositionnel, il peut être pratique d'ajouter l'évolution des valeurs de masse volumique de l'huile dans les conditions thermodynamiques de chaque étape du chemin thermodynamique suivi, tant au-dessus de la pression de saturation que au-dessous. On peut choisir également ou alternativement de stocker d'autres paramètres des phases huile et/ou gaz, mais ce n'est pas indispensable.

f) On traduit, d'une façon connue en soi, le comportement thermodynamique de la (des) phase(s) hydrocarbure(s) en une ou plusieurs représentation(s) thermodynamique(s) de type B.O. dans les données d'entrée de la

modélisation. Ces dépendances sont décrites au-dessus de la pression de saturation du mélange d'hydrocarbures et au-dessous de la pression de saturation, soit point par point dans des tables avec une méthode d'interpolation et, le cas échéant, une méthode d'extrapolation, soit par des corrélations analytiques, soit par un mélange
5 de tables et de corrélations.

g) On réalise, de façon connue en soi, une simulation de type B.O., ladite simulation permettant de calculer au moins dans chaque maille (j) et à des pas de temps consécutifs (m, m+1, etc.), la pression (p_j^m), la température (T_j^m) (si celle-ci varie), les saturations des phases hydrocarbure liquide (So_j^m) et vapeur (Sg_j^m), les
10 débits d'injection ou de production, et, pour chaque paire de mailles (j,h), les débits volumiques des phases liquide (u_{ojh}^m) et vapeur (u_{gjh}^m).

h) On détermine, à chaque pas de temps (m) et dans chaque maille (j), les constantes d'équilibre (k_{ij}^m) du composant i à partir des dépendances des coefficients ($\Delta D_0, \Delta D_1, \dots, \Delta D_p, \dots, \Delta D_n$) de l'équation (1), ou des coefficients ($D_0, D_1, \dots, D_p, \dots, D_n$) de l'équation (3) écrite par phase, établies en e) avec la pression (p_j^m),
15 la température (T_j^m) et avec, le cas échéant en cas de modélisation B.O. non stricte un indicateur de composition comme le contenu en condensat dissous dans la phase gaz.

i) On détermine, à chaque pas de temps (m), la fraction vaporisée (θ_j^m) dans chaque maille (j), soit à partir des résultats de la simulation de type B.O. soit, pour une meilleure précision en cas de coexistence des phases huile et gaz, en résolvant l'équation de Rachford-Rice connue des spécialistes qui est appliquée par exemple dans le document suivant :

- Rachford, H.H.Jr et Rice, J.D.; "Procedure for Use of Electronic Digital
25 Computers in Calculating Flash Vaporization Hydrocarbon Equilibrium", J. Pet. Technol., 1952, 14, 19,

à partir des fractions molaires de chaque composant i dans la composition détaillée globale (z_{ij}^m) du fluide hydrocarbure dans la maille (j) au pas de temps (m)

$$(4) \sum_{i=1}^{Nrd} \frac{z_{ij}^m (k_{ij}^m - 1)}{1 + (k_{ij}^m - 1) \theta_j^m} = 0$$

j) On estime la composition détaillée de chaque phase hydrocarbure, à
5 chaque pas de temps (m) et dans chaque maille (j), en utilisant les relations suivantes :

$$(5) x_{ij}^m = \frac{z_{ij}^m (k_{ij}^m - 1)}{1 + (k_{ij}^m - 1) \theta_j^m} \text{ pour la phase huile}$$

$$(6) y_{ij}^m = \frac{k_{ij}^m z_{ij}^m (k_{ij}^m - 1)}{1 + (k_{ij}^m - 1) \theta_j^m} \text{ pour la phase gaz}$$

k) On estime la densité molaire de la phase huile ξ_{oj}^m dans la maille (j)
10 au pas de temps (m) par exemple à partir de la masse volumique de l'huile ρ_{oj}^m , dans la maille (j) au pas de temps (m), par la relation :

$$(7) \xi_{oj}^m = \frac{\rho_{oj}^m}{MMo} , \text{ MMo étant la masse molaire de la phase liquide hydrocarbure (dite 'huile').}$$

Dans l'équation (7), la masse volumique ρ_{oj}^m peut donc être issue des
15 résultats au pas de temps (m) de la simulation B.O. ou obtenues à partir des données d'entrée spécifiques à l'étape d'éclatement stockées lors de la simulation thermodynamique préalable. MMo peut être calculée à partir des résultats de la simulation B.O. si la masse molaire du constituant hydrocarbure lourd est définie par défaut ou dans les données d'entrées utilisateur, ou à partir de :

$$(8) \text{MMo}_j^m = \sum_{i=1}^{\text{Nrd}} \text{MM}_i x_{ij}^m, \text{MM}_i \text{ étant la masse molaire du composant ou}$$

pseudo-composant i , et les quantités x_{ij}^m ayant été calculées dans l'étape précédente.

- l) On estime la densité molaire de la phase gaz $\xi_{g_j}^m$ dans chaque maille (j) à chaque pas de temps (m), soit à partir de données d'entrée spécifiques à l'étape d'éclatement stockées lors de la simulation thermodynamique préalable, soit à partir des résultats de la simulation B.O. en pression P_j^m , température T_j^m , par exemple avec, lorsque le facteur de compressibilité du gaz fait partie des données d'entrée de la représentation thermodynamique de type B.O. la relation suivante :

$$(9) \xi_{g_j}^m = \frac{P_j^m}{Z_{g_j}^m R T_j^m}, Z_{g_j}^m \text{ étant le facteur de compressibilité du gaz, } R \text{ la}$$

10 constante des gaz parfaits

ou, par exemple, si c'est le facteur de volume du gaz qui fait partie des données d'entrée de la représentation thermodynamique de type B.O. avec la relation suivante :

$$(10) \xi_{g_j}^m = \frac{1}{B_{g_j}^m V_{\text{molst}}}, V_{\text{molst}} \text{ étant le volume molaire du gaz en conditions}$$

15 standard et $B_{g_j}^m$ étant le facteur de volume du gaz.

m) On évalue dans chaque maille (j) à chaque pas de temps (m) les débits molaires des phases liquide (u_{ojh}^m) et vapeur (u_{gjh}^m) à partir des débits volumiques des phases liquide (u_{ojh}^m) et vapeur (u_{gjh}^m) obtenus lors de la simulation B.O. et les densités molaires obtenues dans les étapes k) et l).

20 n) On estime au pas de temps $m+1$ la fraction molaire de chaque composant ou pseudo composant i dans la composition détaillée globale (z_{ij}^{m+1}) du

fluide hydrocarbure dans la maille (j) connaissant la fraction molaire (z_{ij}^m) au pas de temps m à partir des équations ci-après :

$$(11) z_{ij}^{m+1} = \frac{z_{ij}^m N_j^m - \Delta t (y_{ij'}^m S_{gj}^m + x_{ij'}^m S_{oj}^m) - \Delta t \sum_{h \in J(j)} (y_{ij'}^m u_{gjh}^m + x_{ij'}^m u_{ojh}^m)}{N_j^{m+1}}$$

$$(12) N_j^{m+1} = N_j^m - \Delta t (S_{gj}^m + S_{oj}^m) - \Delta t \sum_{h \in J(j)} (u_{gjh}^m + u_{ojh}^m)$$

- 5 l'équation (12) traduisant le bilan molaire total hydrocarbure sur la maille (j), N_j^m , étant la quantité molaire hydrocarbure contenue dans la maille (j) au pas de temps (m) en tenant compte des échanges de matière avec toutes les mailles (h) voisines de (j) qui forment l'ensemble J(j).

- 10 Dans l'équation (11), l'écriture des termes ($y_{ij'}^m$) et ($x_{ij'}^m$), - dans lesquels $j'=j$ pour un débit de la maille (j) vers la maille (h) ou dans le puits, et $j'=h$ pour un débit de la maille (h) vers la maille (j), et j' correspondant au fluide injecté dans le cas des puits d'injection, S étant alors négatif -, suppose implicitement l'utilisation d'un schéma simple amont pour les flux compositionnels. Une écriture plus générale de ces termes est (y_{ijh}^m) et (x_{ijh}^m) où x_{ijh}^m et y_{ijh}^m décrivent les compositions des phases
15 liquide et gaz, obtenues d'une façon connue en soi, s'écoulant entre les mailles (j) et (h).

Les termes source (débits molaires) (S_{gj}^m) et (S_{oj}^m) sont obtenus à partir des termes source (débits volumiques) (S_{gj}^m) et (S_{oj}^m) dans la simulation B.O. en reproduisant pour les termes source les étapes j) à m).

- 20 Les étapes h) à n) décrivent l'opération d'éclatement ou "delumping". Les détails fournis sont basés sur des équations de conservation en moles ; on aurait pu tout aussi bien se baser sur des équations de conservation en masse.

Dès lors que l'on sait décrire la composition détaillée dans chaque maille du modèle de simulation de type B.O. à l'instant t , qui peut être en particulier l'instant initial, on sait grâce à la présente méthode, décrire l'évolution de la composition détaillée dans chaque maille au cours du procédé d'exploitation modélisé dans un

5 modèle de type « Black Oil ».

REVENDECATIONS

1) Méthode de modélisation permettant de prédire en fonction du temps la composition détaillée des fluides produits par un gisement souterrain en cours de production, dans au moins une zone thermodynamique définie dans la modélisation, caractérisée en ce que :

- on discrétise le gisement par un maillage, chaque maille contenant une ou plusieurs phases dont au moins une phase non aqueuse ;
- on détermine la variation de paramètres thermodynamiques des phases non aqueuses nécessaires à une modélisation de type « Black Oil » (B.O.) au cours d'étapes d'un chemin thermodynamique suivi par les fluides dans le gisement ;
- on définit les fluides par une représentation détaillée à N_{rd} composants et/ou pseudo-composants ;
- on détermine au moins une fonction d'état à n paramètres permettant de simuler au moins dans la phase de préparation des données d'entrée, le comportement thermodynamique des fluides au cours des étapes du chemin thermodynamique suivi de façon à générer, dans chaque dite zone thermodynamique où l'on souhaite effectuer une opération d'éclatement, des données d'entrée supplémentaires ;
- on traduit le comportement thermodynamique de chaque phase non aqueuse en des données d'entrée convenant pour une représentation thermodynamique de type B.O., données d'entrée que l'on complète par les dites données d'entrée supplémentaires convenant à une opération d'éclatement ;
- on réalise une modélisation de type B.O., permettant de déterminer dans chaque maille et à des pas de temps consécutifs, des caractéristiques thermodynamiques de chaque phase non aqueuse et des données représentatives de déplacement des phases dans le gisement ; et

- on réalise une opération d'éclatement pour obtenir la composition détaillée des fluides dans chacune des mailles.

2) Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'on caractérise le chemin thermodynamique en déterminant les variations de la composition des fluides et des propriétés des différentes phases.

3) Méthode selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que l'on détermine dans chaque maille au cours de la simulation de type B.O., des paramètres thermodynamiques tels que la pression (p_j^m), la température (T_j^m), si celle-ci varie, les saturations des phases hydrocarbure liquide (So_j^m) et vapeur (Sg_j^m), les débits d'injection ou de production, et, pour chaque paire de mailles(j,h), les débits volumiques des phases liquide (u_{ojh}^m) et vapeur (u_{gjh}^m).

4) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'opération d'éclatement comporte une détermination des constantes d'équilibre à partir de données d'entrées spécifiques à l'opération d'éclatement, et une conversion de résultats exprimés en volume par des résultats utilisables dans des équations de conservation des quantités molaires ou massiques.

5) Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que l'on utilise chaque fonction d'état pour générer n+1 relations fonctionnelles supplémentaires sous forme de tables de données ou de corrélations, que l'on inclut dans les données d'entrée.

1/2

Figure 1

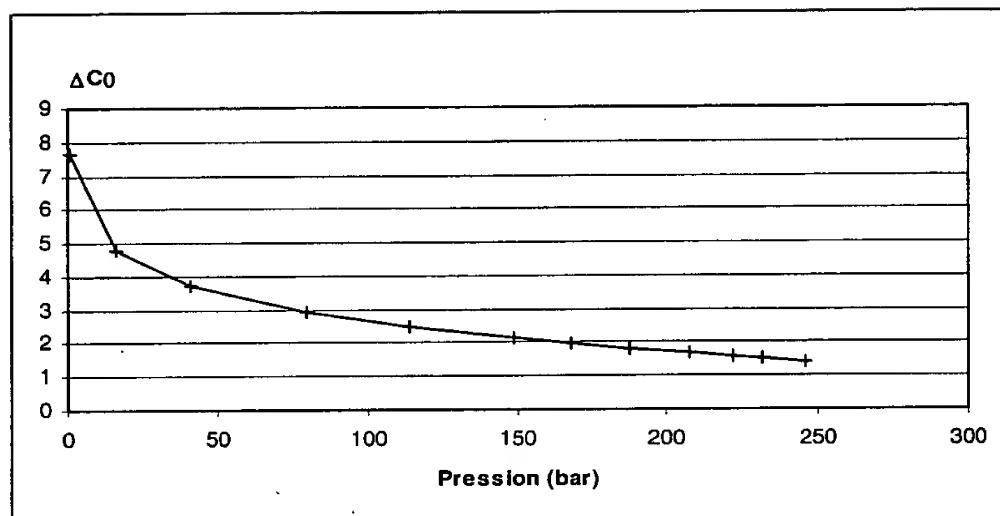


Figure 2

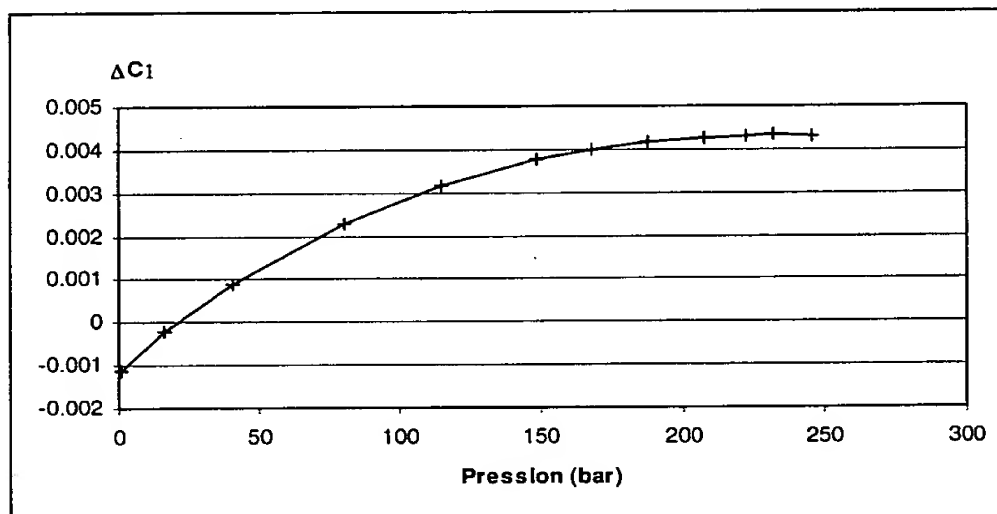


Figure 3

